

Opinnäytetyö AMK

Ajoneuvo- ja kuljetustekniikka

Kuljetustekniikka

2017

Martti Hannula

# SÄHKÖLINJA-AUTON ENERGIANKULUTUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Martti Hannula

# SÄHKÖLINJA-AUTON ENERGIANKULUTUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Turun joukkoliikenteen (Föli) linja-autojen linja 1 on tarkoitettu sähköistää kokonaisuudessaan. Alkuvuonna 2017 ajokäytössä oli kolme kappaletta täysin sähkötoimisia linja-autoja ja kolme kappaletta oli valmistusvaiheessa. Ensimmäinen sähköbussi aloitti liikennöinnin lokakuun alussa, 3.10.2016. Linja 1 lähtee lentoasemalta ja kulkee kauppatorille. Kauppatorilta linja jatkuu satamaan, joka on linjan toinen päätepaikka.

Tässä opinnäytetyössä käydään läpi laskennan ja pohdinnan merkeissä näiden linja-autojen energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Näihin kuuluvat esimerkiksi lämpötilassa tapahtuvat muutokset, vaihtelu ajomäärässä, sekä erilaiset sähköiset häviöt, joita tapahtuu linja-auton päivittäisessä käytössä. Jotta kyseisiä asioita on mahdollista tutkia, hyödynnetään linja-autojen tallentamaa dataa. Nämä linja-autot tallentavat dataa tietokantaan jatkuvasti, olivat ne sitten ajossa tai latauksessa. Kyseinen data tallentuu verkkosivustolle, sekä pilvipalvelimeen, josta sitä on mahdollista päästä tarkastelemaan käyttäjätunnuksella ja salasana. Tämän datan avulla on laskettu eri häviöitä ja seurattu toimilaitteiden kulutuksia.

Datan mittauspisteitä on yhdessä linja-autossa kokonaisuudessaan yli 170 kappaletta, joista tässä opinnäytetyössä on perehdytty energiankulutuksen mittauspisteisiin, tarkemmin ottaen niihin, joiden yksikkönä saadaan kilowattitunti. Vertailua on tehty energiankulutukseen niin lämpötilan, kuin ajomäärään muuttuessa, useammalle linja-autolle ja eri vuodenaikoina. Vaikkakin linja-autot ovat olleet ajokäytössä ajallisesti hyvin pienen osan koko käyttöikästään, on jo mahdollista saada hyvin suuntaa-antavia kokonaisarvoja.

## ASIASANAT:

Turun kaupunki, Linja-auto, Sähkölinja-auto, energiankulutus, data, mittauspiste, kilowattitunti

Martti Hannula

## ENERGY CONSUMPTION OF ELECTRIC BUS AND FACTORS AFFECTING IT

In the city of Turku, the public transport (Föli) bus route number one is on its way to be fully electrified. In the beginning of the year 2017, three all-electric buses were in use and another three being manufactured. The first all-electric bus started trafficking at the start of October, 3.10.2016. The bus route number one starts from the airport on goes to the market square. There it continues to harbor, which is also the other end of the route.

This thesis goes through by calculation and consideration the factors affecting the energy consumption of these buses. These include, for example, changes in temperature, changes in mileage and different electric leakages, that happen in daily use. Being able to examine these factors, we are using the saved data of these buses. They constantly record and save data to their database, whether they are driven or being charged. The data is transferred in a website and cloud server, from it is possible to be examined with username and password. With this data, it is possible to calculate different electrical losses and follow the consumption of different actuators.

There are more than 170 data measurement points in a single bus, and in this thesis, we are looking at the measurement points of energy consumption, being specific, the unit of these measurement points is kilowatt-hour. The comparison to the energy consumption has been made in change of temperature and in change of mileage with multiple different buses and in different times of year. Even though the all-electrical buses have been in use only a small amount of their whole life span, it is already possible to get very indicative total values.

### KEYWORDS:

City of Turku, bus, all-electric, energy consumption, data, measurement point, kilowatt-hour

# SISÄLTÖ

<b>KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO</b>	<b>6</b>
<b>1 JOHDANTO</b>	<b>7</b>
<b>2 MIKSI LINJA-AUTOJA HALUTAAN SÄHKÖISTÄÄ?</b>	<b>9</b>
<b>3 LINJA-AUTOJEN HÄVIÖT</b>	<b>10</b>
3.1 Akussa tapahtuva lataushäviö	10
3.2 Akussa tapahtuva purkaushäviö	11
3.3 Toimilaitteiden häviöt	11
<b>4 ENERGIANKULUTUS AJOMÄÄRÄÄN VERRATTUNA</b>	<b>15</b>
4.1 Linja-auton energiankulutus helmikuussa	16
4.2 Linja-autojen energiankulutus maaliskuussa	17
<b>5 ENERGIANKULUTUS LÄMPÖTILAAN VERRATTUNA</b>	<b>22</b>
5.1 Helmikuun lämpötilat ja energiankulutus	22
5.2 Maaliskuun lämpötilat ja energiankulutus	23
5.3 Kuukausikohtainen lähempi tarkastelu	24
<b>6 ENERGIANKULUTUS AJOMÄÄRÄÄN JA LÄMPÖTILAAN VERRATTUNA</b>	<b>26</b>
6.1 Helmikuun yhdistetyt arvot	26
6.2 Maaliskuun yhdistetyt arvot	30
6.3 Helmi- ja maaliskuun yhteenveto	33
<b>7 POHDINTA</b>	<b>36</b>
<b>8 YHTEENVETO</b>	<b>37</b>
<b>LÄHTEET</b>	<b>38</b>

## KUVAT

Kuva 1. Linjan 1 reitti opaskartalla (Föli 2017).

16

## KUVIOT

Kuvio 1. Helmikuu, Linja-auton 1 energiankulutus ja ajokilometrit viivakaaviossa.	20
Kuvio 2. Maaliskuu, Linja-auton 1 energiankulutus ja ajokilometrit viivakaaviossa.	20
Kuvio 3. Maaliskuu, Linja-auton 2 energiankulutus ja ajokilometrit viivakaaviossa.	21
Kuvio 4. Helmikuu, Linja-auton 1 energiankulutus ja lämpötila viivakaaviossa.	25
Kuvio 5. Maaliskuu, Linja-auton 1 energiankulutus ja lämpötila viivakaaviossa.	25
Kuvio 6. Helmikuu, energiankulutuksen riippuvuus ajomäärästä ja ulkolämpötilasta.	34
Kuvio 7. Maaliskuu, energiankulutuksen riippuvuus ajomäärästä ja ulkolämpötilasta	35

## TAULUKOT

Taulukko 1. Linja-auton 1 lähtöarvot.	12
Taulukko 2. Linja-auton 1 lasketut arvot.	12
Taulukko 3. Linja-auton 2 lähtöarvot.	13
Taulukko 4. Linja-auton 2 lasketut arvot.	13
Taulukko 5. Linja-auton 3 lähtöarvot.	14
Taulukko 6. Linja-auton 3 lasketut arvot.	14
Taulukko 7. Linja-auton 1 helmikuun energiankulutus ajomäärään funktiona.	18
Taulukko 8. Linja-auton 1 maaliskuun energiankulutus ajomäärään funktiona.	19
Taulukko 9. Linja-auton 2 maaliskuun energiankulutus ajomäärään funktiona.	19
Taulukko 10. Linja-auton 1 helmikuun keskilämpötilat ja energiankulutus.	23
Taulukko 11. Linja auton 1 energiankulutus ja maaliskuun keskilämpötilat.	24
Taulukko 12. Linja-auton 1 ajomäärät helmikuussa.	28
Taulukko 13. Linja auton 1 helmikuun mittauksien keskilämpötilat.	28
Taulukko 14. Linja-auton 1 energiankulutus helmikuussa.	28
Taulukko 15. Linja-auton 1 helmikuun kokonaisuus.	29
Taulukko 16. Linja-auton 1 ajomäärät maaliskuussa.	31
Taulukko 17. Linja auton 1 maaliskuun mittauksien keskilämpötilat.	31
Taulukko 18. Linja-auton 1 energiankulutus maaliskuussa.	31
Taulukko 19. Linja-auton 1 maaliskuun kokonaisuus.	32
Taulukko 20. Helmi- ja maaliskuun yhteenveto	34

## KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Lähdeviite)
<sup>0</sup> C	Celsiusaste
km	Kilometri
kWh	Kilowattitunti
kWh/km	Kilowattituntia/kilometri
Wh/km	Wattituntia/kilometri

# 1 JOHDANTO

Turun kaupungissa otettiin käyttöön ensimmäinen täysin sähköinen linja-auto, linjalle numero 1, vuoden 2016 lokakuussa (Yle uutiset 2016a). Tämä linja kulkee lentoasemalta Turun kauppatorille, josta se jatkuu ja myös päättyy satamaan. Alkuvuonna 2017 tätä linjaa ajoi kolme kappaletta täysin sähkötoimisia linja-autoja ja kolme kappaletta oli valmisteilla. Yhteensä kuudella linja-autolla on mahdollista hoitaa linjalla tapahtuva henkilöliikenne kokonaan, eikä diesel linja-autoja enää tarvittaisi muulloin, kuin ruuhkavuorojen apuna. Tälle linjalle on rakennettu pikalatauspisteet molempiin päätepysäkkeihin, jonka lisäksi linja-autoja ladataan ajovuoron päätyttyä illalla, linja-autovarikolla omissa latauspisteissään.

Tämä opinnäytetyö sisältää linja-autoista kerättyä tietoa, jolla pystytään tutkimaan energiankulutukseen vaikuttavia muutoksia, sekä laskemaan linja-auton sisäisiä häviöitä. Näitä tietoja kerää linja-autoihin asennetut yli 170 mittauspistettä. Mittaustulokset voidaan lajitella niiden mittaaman yksikön mukaan. Muutamina esimerkkeinä toimii esimerkiksi, virran, jännitteen, paineen, ajan, matkan, lämpötilan ja energian yksiköt. Näistä edellä mainituista yksiköistä on tässä työssä perehdytty nimenomaan energian yksiköön, tarkemmin ottaen kilowattituntiin. Jotta kaikki laskelmat ja pohdinnat on mahdollista suorittaa, on joissain tilanteissa hyödynnetty myös matkan, sekä lämpötilan mittauvien mittauspisteiden antamia arvoja.

Työn tavoitteena oli saada selkeyttä tietokantaan tallentuviin eri energiankulutuksen arvoihin, sekä niissä oleviin muutoksiin ja poikkeamiin. Työn alussa on laskettu erinäisiä häviöitä, joita syntyy linja-autoa ladattaessa, joko varikolla tai päätepysäkkien pikalatauspisteissä. Sen lisäksi on laskettu sisäisiä häviöitä, joita tapahtuu linja-auton päivittäisessä käytössä.

Tästä on jatkettu laskentaan ja tutkintaan, joka on tehty useammalle linja-autolle ajomäärän muutoksen vaikutuksesta energiankulutuksen kasvuun tai vähenemiseen. Kyseinen tutkinta on myös tehty eri vuodenaikoina, laajemman tarkastelun saavuttamiseksi. Eri vuodenaajoista huolimatta, tässä ei vielä käydä läpi lämpötilan muutoksen aiheuttamia vaikutuksia, vaan ne käydään läpi tämän luvun jälkeen.

Tutkinta lämpötilan muutosten vaikutuksesta energiankulutuksen kasvuun tai vähenemiseen on tehty myös useammalle linja-autolle. Kyseisessä tutkinnassa on käytetty samoja päivämääriä, kuin ajomäärän muutoksessa, mutta tässä tapauksessa ajomäärän muutokset on sivuutettu. On tärkeää ymmärtää, että neljännessä luvussa vertailua tehdään siis vain lämpötilan muutokseen.

Työn loppuun on koottu kokonaisuus, joka sisältää mahdollisimman tarkkoja arvoja linja-auton energiankulutuksesta. Tässä kokonaisuudessa on siis huomioitu alussa lasketut energiahäviöt, joita tapahtuu niiden latauspisteissä, kuin myös jatkuvassa käytössä tapahtuvat sisäiset häviöt. Sen lisäksi on otettu huomioon ajomäärässä tapahtuvat muutokset, minkä tähden lopullinen laskennan yksikkö onkin verrattu suoraan kilometriä kohden. Koska vertailua on tehty eri kuukausilla, tämä luku sisältää myös näiden eri kuukausien ajoaikana tapahtuneet lämpötilan muutokset.



## 2 MIKSI LINJA-AUTOJA HALUTAAN SÄHKÖISTÄÄ?

Tekniikka kehittyy eri osa-alueilla jatkuvasti ja on osana ihmisen jokapäiväistä elämää. Tämä on huomattavissa myös autoteollisuudessa. Sen voi huomata jatkuvasti mainoksissa olevista uusista automalleista, joista löytyy aina toinen toistaan kehittyneempää teknologiaa. Tämä teknologia on osana myös raskaiden ajoneuvojen ja joukkoliikenteen kehitystä.

Otsikoissa on viime vuosina ollut kiihtyvään tahtiin puhetta saasteista, joita ihmiset ovat aiheuttaneet. Autoteollisuus on yksi suurimpana saasteisiin ja päästöihin vaikuttavista osa-alueista. Kehittyvällä teknologialla pystytään tuomaan keinoja päästöjen vähentämiseksi sekä myös lisää turvallisuutta ja mukavuutta ajoneuvon kuljettajalle ja matkustajille.

Sähkötoimiset linja-autot ovat täysin päästöttömiä, mutta myös erittäin hiljaisia. Linja-autoja sähköistämällä saavutetaan siis käyttömukavuutta kaupungissa melusaasteiden pienentyessä, sekä suuria päästöjen vähennyksiä, kun diesel linja-autot siirtyvät syrjään. Näitä asioita korostaa myös Turun joukkoliikennejohtaja Sirpa Korte omassa haastattelussaan (Yle uutiset 2016b).

Kaupunkiajossa aiheutuvien jatkuvien kiihdytysten ja jarrutusten takia ovat päästöt ja kulutus suurempia kuin maantieajossa. Ongelmana sähköautoissa on ollut lyhyt toimintamatka ja vähäiset latauspisteet. Kaikki nämä ongelmat on ehkäisty linjalla 1. Lyhyet siirtymät sekä latauspisteet ajoreitin molemmissa päätepisteissä takaavat helposti riittävän toimintamatkan ja jatkuvan energian saannin, unohtamatta suuria päästöjen vähennyksiä. Näin ollen linjan 1 sähköistys toimii esimerkkinä tulevaisuuden mahdollisesti täysin sähköistetystä kaupunkilinja-autoliikennöinnistä. Helsingin seudun liikenne onkin ilmoittanut, että pääkaupunkiseudun yli 1300 bussista vuonna 2025 kolmasosa kulkisi sähköllä (Tekniikka & Talous 2017).

### 3 LINJA-AUTOJEN HÄVIÖT

Turun sähkölinja-autojen tiedonkeruun mittaamat tiedot tallentuvat Internet-sivustolle, josta niitä on mahdollista päästä tarkastelemaan joko jälkikäteen tai reaaliajassa käyttäjätunnuksen ja salasanan avulla. Tiedot jokaiselta linja-autolta tallentuvat myöskin erikseen, jotta niitä pystytään tutkimaan yksilökohtaisesti. Jokaisessa linja-autossa on samat mittauspisteet, jolloin pystytään luomaan vertailua suoraan eri linja-autojen kesken. Tätä vertailua onkin tehty nimenomaan tämän luvun häviöiden kohdalla. Kuten on aikaisemmin mainittu, tämän opinnäytetyön laskennat ovat kaikki tehty energiankulutuksen arvoja ajatellen. Tarkoitus oli saada mahdollisimman paljon ymmärrystä energiankulutukseen ja siinä tapahtuviin muutoksiin, joihin vaikuttavat niin sisäiset, kuin ulkoiset tekijät. Dataa energiankulutuksesta mitataan linja-autoissa kahdestatoista eri mittauspisteestä. Nämä kaksitoista mittauspistettä voidaan luokitella seuraavasti.

Yläkategoriaan kuuluvat pääkohdat, joita ovat ulkoinen-, sekä regeneroitu energia, akun kokonaislataus, akulta purkautunut energia ja toimilaitteille syötetty energia.

Alakategoria sisältää tarkemmat tiedot mihin osa-alueisiin toimilaitteille syötetty energia jakautuu. Nämä osa-alueet ovat ajomoottori, pienjännitelaitteet, lämpöpumppu, paineilmakompressori ja ohjaustehostin.

#### 3.1 Akussa tapahtuva lataushäviö

Jotta edellä mainittuja häviöitä voidaan lähteä laskemaan, on lähdettävä liikkeelle ulkoisen ja regeneroidun energian yhteenlasketusta määrästä. Ulkoinen energia on päätepysäkkien pikalatauspisteiden kautta ajovuoron aikana sekä yöllä linja-autovarikolla akkuun syötetty määrä. Regeneroitu energia taas on sähkömoottorin regenerointitoiminnolla tuotettua energiaa. Näistä yhteensä saatava sähkö on siis se määrä energiaa, jota akkuun syötetään.

Akulle kertynyt lataus on kuitenkin pienempi kuin ulkoisen ja regeneroidun energian yhteenlaskettu määrä. Vertaamalla akkuun syötettyä kokonaismäärää sen saamaan kokonaislataukseen saadaan erotus, joka muodostuu häviöistä, kun osa energiasta muuttuu lataustapahtumassa lämmöksi. Näin saadaan selville ensimmäisenä arvona akussa tapahtuva lataushäviö.

Tekstin selkeyttämiseksi luvun lopusta löytyy valkoisella pohjalla olevat taulukot, joista on näkyvillä tarkat arvot kolmelle ensimmäiseksi valmistuneelle sähkölinja-autolle. Nämä arvot ovat osa sitä dataa, jota linja-autot jatkuvasti tallentavat. Niiden alapuolelta löytyy sinertävällä pohjalla olevat taulukot, joissa on laskettuna kaikki lukujen 3.1, 3.2 ja 3.3 sisältämät häviöt.

### 3.2 Akussa tapahtuva purkaushäviö

Toisessa vaiheessa on laskettu häviöprosentti akulle kertyneestä energiasta verrattuna sieltä purkautuneeseen energiaan. Laskenta oli mahdollista tehdä suoraan tarkoista arvoista, koska linja-autot sisältävät mittauspisteet, joiden tuloksina saadaan nimenomaan akulle kertynyt ja sieltä purkautunut energia. Näin saadaan siis toiseksi häviöarvoksi akussa tapahtuva purkaushäviö.

### 3.3 Toimilaitteiden häviöt

Kolmannessa vaiheessa verrataan linja-auton toimilaitteille syötetyn energian määrää toimilaitteiden käyttämään energiaan. Toimilaitteet on mitattu kukin erikseen, joten ensimmäisenä on niiden arvot summattu kokonaistulokseksi. Toimilaitteille syötettyä energia on tämän jälkeen verrattu niiden käyttämään energiaan. Näiden erotuksesta saadaan kolmantena häviölajina toimilaitteiden häviöt.

Taulukko 1. Linja-auton 1 lähtöarvot.

<b>Linja-auto 1</b>		
Akun saama kokonaislataus	41044	kWh
Purkautunut energia	-37745	kWh
Ulkoinen energia	32687	kWh
Regeneroitu energia	9549	kWh
Toimilaitteille syötetty energia	31614	kWh
Paineilmakompressori	748	kWh
Pienjännitelaitteet	4574	kWh
Moottori	22064	kWh
Lämpöpumppu	2595	kWh
Ohjaustehostin	315	kWh
	=	30296 kWh

Taulukko 2. Linja-auton 1 lasketut arvot.

<b>Linja-auto 1</b>		
Ulkoinen ja regeneroitu energia	42236	kWh
Akun saama kokonaislataus	41044	kWh
Erotus	1192	kWh
Akussa tapahtuva lataushäviö	-2,82	%
Akun saama kokonaislataus	41044	kWh
Purkautunut energia	-37745	kWh
Erotus	3299	kWh
Akussa tapahtuva purkaushäviö	-8,04	%
Toimilaitteille syötetty energia	31614	kWh
Toimilaitteiden käyttämä energia	30296	kWh
Erotus	1318	kWh
Toimilaitteiden häviöt	-4,17	%

Taulukko 3. Linja-auton 2 lähtöarvot.

<b>Linja-auto 2</b>		
Akun kokonaislataus	38805	kWh
Purkautunut energia	-35557	kWh
Ulkoinen energia	31663	kWh
Regeneroitu energia	8404	kWh
Toimilaitteille syötetty energia	29144	kWh
Paineilmakompressor	690	kWh
Pienjännitelaitteet	4217	kWh
Moottori	20739	kWh
Lämpöpumppu	2653	kWh
Ohjaustehostin	275	kWh
	=	28574 kWh

Taulukko 4. Linja-auton 2 lasketut arvot.

<b>Linja-auto 2</b>		
Ulkoinen ja regeneroitu energia	40067	kWh
Akun kokonaislataus	38805	kWh
Erotus	1262	kWh
Akussa tapahtuva lataushäviö	-3,15	%
Akun kokonaislataus	38805	kWh
Purkautunut energia	-35557	kWh
Erotus	3248	kWh
Akussa tapahtuva purkaushäviö	-8,37	%
Toimilaitteille syötetty energia	29144	kWh
Toimilaitteiden käyttämä energia	28574	kWh
Erotus	570	kWh
Toimilaitteiden häviöt	-1,96	%

Taulukko 5. Linja-auton 3 lähtöarvot.

<b>Linja-auto 3</b>		
Akun saama kokonaislataus	9929	kWh
Purkautunut energia	-9144	kWh
Ulkoinen energia	7990	kWh
Regeneroitu energia	2228	kWh
Toimilaitteille syötetty energia	7235	kWh
Paineilmakompressori	237	kWh
Pienjännitelaitteet	1152	kWh
Moottori	5007	kWh
Lämpöpumppu	439	kWh
Ohjaustehostin	64	kWh
	=	6899 kWh

Taulukko 6. Linja-auton 3 lasketut arvot.

<b>Linja-auto 3</b>		
Ulkoinen ja regeneroitu energia	10218	kWh
Akun saama kokonaislataus	9929	kWh
Erotus	289	kWh
Akussa tapahtuva lataushäviö	-2,83	%
Akun saama kokonaislataus	9929	kWh
Purkautunut energia	-9144	kWh
Erotus	785	kWh
Akussa tapahtuva purkaushäviö	-7,91	%
Toimilaitteille syötetty energia	7235	kWh
Toimilaitteiden käyttämä energia	6899	kWh
Erotus	336	kWh
Toimilaitteiden häviöt	-4,64	%

Lähtöarvot eri linja-autoille ovat erisuuruisia niiden erimittaisen käyttöiän takia. Häviöiden suuruus prosentuaalisesti on kuitenkin jokaisen linja-auton toimilaitteilla ja lataushäviöissä lähestulkoon sama. Häviöitä keskenään verrattaessa, on jokaisen linja-auton akussa tapahtuva purkaushäviö suurin.

## 4 ENERGIANKULUTUS AJOMÄÄRÄÄN VERRATTUNA

Jokaisen linja-auton yksi mittauspiste kerää tietoa linja-autolla ajetusta kilometrimäärästä. Tämä toimii siis matkamittarin tavoin, mutta tieto tallentuu myös ulkoiselle palvelimelle. Vertaamalla energiankulutusta tähän saadaan tulos, josta nähdään energiankulutus (kWh/km). Tämän luvun laskenta ja pohdinta tehtiin datalle, joka oli kerätty helmikuussa 2017 linja-autolle 1, ja maaliskuussa 2017 linja-autoille 1 ja 2. Tätä vertailua ei ollut mahdollista tehdä helmikuussa molemmille linja-autoille, koska linja-autosta 2 ei ollut riittävästi dataa tallessa pienen ajomäärän takia.

Tässä vaiheessa on huomautettava, että energiankulutuksessa ei ole vielä huomioitu lämpötilan muutoksia, kuten jo johdannossa mainittiin. Lämpötila huomioidaan vasta myöhemmin tulevassa luvussa.

Koska linja-autojen reitti on vakio, ei ajomäärässä ollut suuria muutoksia eri päivillä, yhtä poikkeusta lukuun ottamatta, jossa kilometrejä kertyi tavallista vähemmän. Suurin ajomäärä linja-autolle 1 kertyi 17. maaliskuuta, jolloin kilometrejä kertyi 318. Pienin ajomäärä on linja-autolla 2 myöskin maaliskuussa, mutta 14. päivänä. Tämän vuorokauden ajomäärä oli vain 246 kilometriä.

Karttakuva sähköbussien ajamasta linjasta 1 on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Linjan 1 reitti opaskartalla (Föli 2017).

Yllä olevassa kuvassa on nähtävissä pääpiirteittäin linja-autojen ajoreitti. Välipysäkkejä ei ole eritelty. Pikalatauslaitteet olivat ajoreitin molemmissa päissä, lentokentällä ja satamassa. Jotta energiankulutusta ajomäärän verrattuna päästään tarkastelemaan loogisesti, edetään linja-auton energiankulutuksiin kuukausikohtaisesti.

#### 4.1 Linja-auton energiankulutus helmikuussa

Tarkasteltaessa linja-auton 1 energiankulutusta, on helmikuun laskennat tehty aikajaksolla 6.2. – 12.2.2017. Kyseisellä aikajaksolla lämpötila pysyi tasaisesti pakkasen puolella, mikä hyödytti energiankulutuksen tutkimista myöhemmissä vaiheissa. Kun tämän seitsemän vuorokauden ajomäärät lasketaan yhteen, saadaan kokonaiskilometrimääräksi 2022 km. Vastaavalla tavalla yhteen laskettaessa, saadaan seitsemän vuorokauden energiankulutukseksi 2653 kWh.



Kun energiankulutus jaetaan kilometrimäärällä, saadaan linja-autolle 1 helmikuun energiankulutuksen arvo seitsemän vuorokauden aikajaksolta. Sen suuruudeksi saadaan 1,31 kWh/km.

#### 4.2 Linja-autojen energiankulutus maaliskuussa

Huomattavasti laajempi tarkastelu oli mahdollista tehdä maaliskuulle, kun useammasta linja-autosta oli dataa tallentuneena. Tätä vertailua ei tehty aivan peräkkäisille vuorokausille, vaan tässä vertailussa käytetyt kymmenen vuorokautta on valittu niin, että myös linja-auto numero 2 on ollut ajossa ja lämpötilaero helmikuuhun olisi mahdollisimman suuri. Tarkalleen ottaen maaliskuun laskennoissa käytetyt päivämäärät ovat 11.3.2017, 14.3. – 19.3.2017, 22.3.2017, sekä 25.3. – 26.3.2017.

Lähdettäessä liikkeelle linja-autosta numero 1, on huomattavissa, ettei päiväkohtaisissa kilometrimäärissä ole suuria eroja helmikuun päiviin verrattuna. Maaliskuussa linja-autolle 1 kertyi ajoa 2072 kilometriä, joka on 50 kilometriä enemmän kuin helmikuussa. Kilowattitunteja kertyi kuitenkin vain 2486. Suuremmasta kilometrimäärästä huolimatta oli siis energiankulutus 167 kilowattituntia pienempi. Linja-auton 1 energiankulutukseksi matkaa kohden saadaan 10 vuorokauden aikajaksolla 1,19 kWh/km.

Tässä kohtaa siirtyy tarkastelu linja-autoon numero 2. Kymmenen vuorokauden ajomäärä on 2027 km. Poikkeusta ei kuitenkaan synny, kun kilowattituntien määrää katsottaessa on huomattavissa vastaavanlainen tuloksen pieneneminen. Kilowattitunteja kertyi 2388. Sen maaliskuun tulokseksi saatiin lähestulkoon identtinen arvo linja-autoon 1 verrattuna. Linja-auton 2 tulos oli 1,18 kWh/km.

Ennen kuin laskentoihin ottaa mukaan uusia arvoja, on mahdollista tehdä lyhyt vertailu tilanteen selkeyttämiseksi. Linja-autot 1 ja 2, jotka olivat ajossa samat päivät maaliskuussa, kerryttivät lähestulkoon identtisen energiankulutuksen arvon. Näitä kahta arvoa verrattaessa helmikuusta saatuun linja-auton 1 arvoon on huomattavissa, että helmikuun kilometrikohtainen energiankulutus on noin 1,1-kertainen maaliskuuhun nähden. Tarkka erotus linja-auton 1 arvoilla on 0,12 kWh/km.

Seuraavilta sivuilta löytyvät taulukoituna kaikki pääotsikon kolme alla läpikäydyt arvot ja niiden laskentojen tulokset. Linja-autolle 1 on erikseen taulukko helmikuulle ja maaliskuulle (taulukot 7 ja 8), linja-autolle 2 on maaliskuun taulukko (taulukko 9). Näiden taulukoiden alapuolelta löytyvät vielä samat arvot viivakaavion muodossa (kuviot 2, 3 ja 4).

Taulukko 7. Linja-auton 1 helmikuun energiankulutus ajomäärään funktiona.

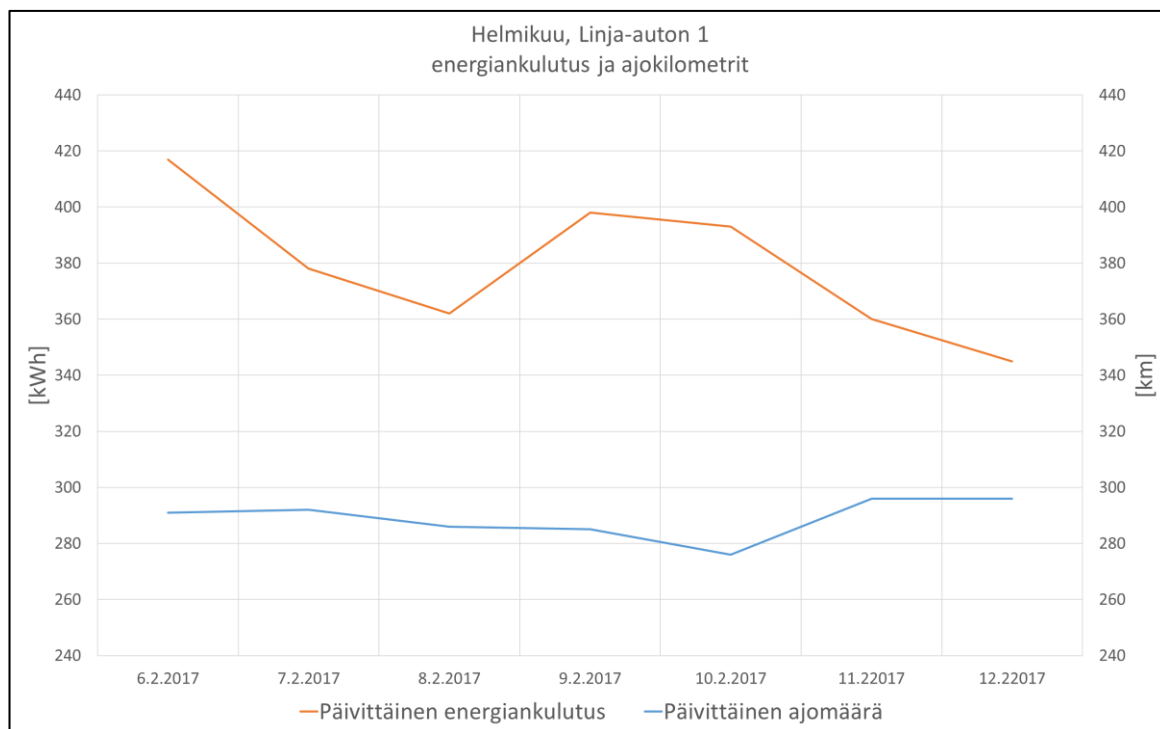
Linja-auto 1		
Pvm	km	kWh
6.2.2017	291	417
7.2.2017	292	378
8.2.2017	286	362
9.2.2017	285	398
10.2.2017	276	393
11.2.2017	296	360
12.2.2017	296	345
Yhteensä	2022	2653
Keskiarvo	1,31	kWh/km

Taulukko 8. Linja-auton 1 maaliskuun energiankulutus ajomäärän funktiona.

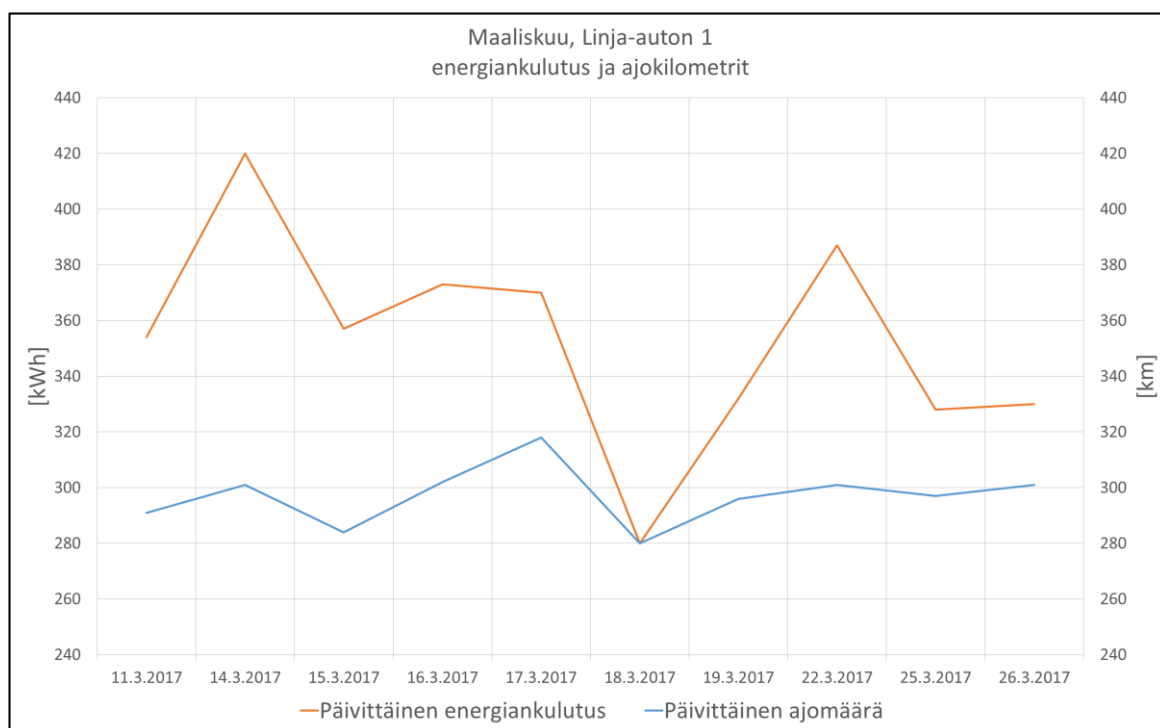
Linja-auto 1		
Pvm	km	kWh
11.3.2017	291	354
14.3.2017	301	420
15.3.2017	284	357
16.3.2017	302	373
17.3.2017	318	370
18.3.2017	280	280
19.3.2017	296	332
22.3.2017	301	387
25.3.2017	297	328
26.3.2017	301	330
Yhteensä	2971	3531
Keskiarvo	1,19	kWh/km

Taulukko 9. Linja-auton 2 maaliskuun energiankulutus ajomäärän funktiona.

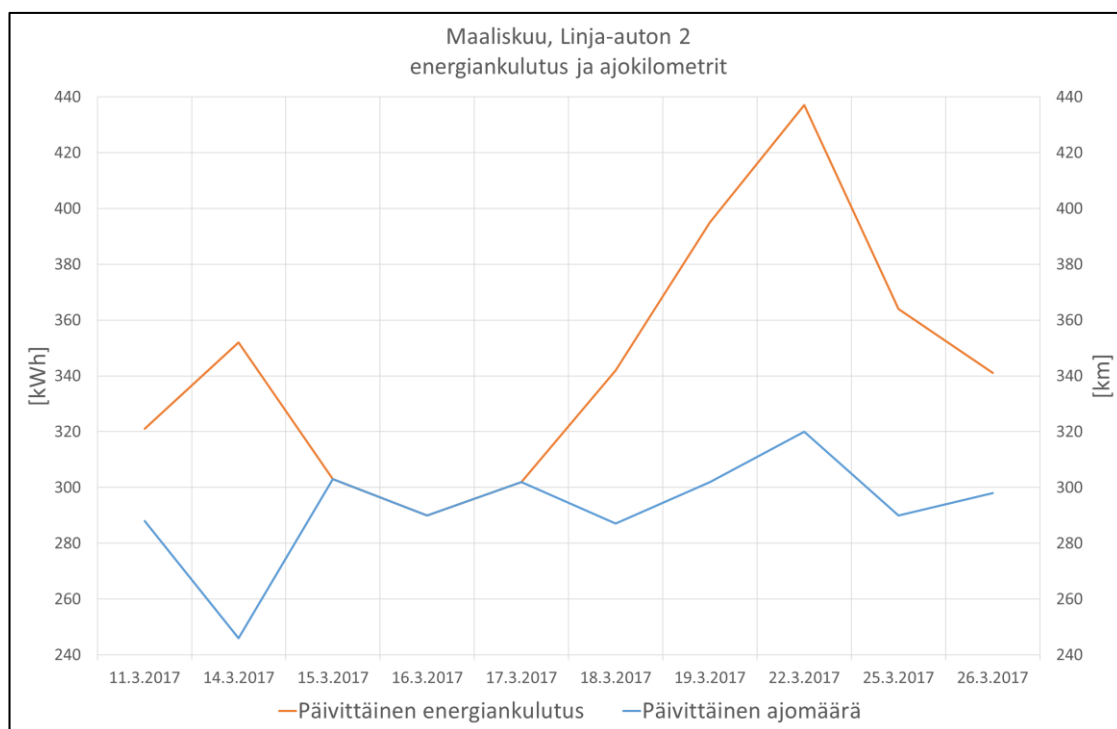
Linja-auto 2		
Pvm	km	kWh
11.3.2017	288	321
14.3.2017	246	352
15.3.2017	303	303
16.3.2017	290	290
17.3.2017	302	302
18.3.2017	287	342
19.3.2017	302	395
22.3.2017	320	437
25.3.2017	290	364
26.3.2017	298	341
Yhteensä	2926	3447
Keskiarvo	1,18	kWh/km



Kuvio 1. Helmikuu, Linja-auton 1 energiankulutus ja ajokilometrit viivakaaviossa.



Kuvio 2. Maaliskuu, Linja-auton 1 energiankulutus ja ajokilometrit viivakaaviossa.



Kuvio 3. Maaliskuu, Linja-auton 2 energiankulutus ja ajokilometrit viivakaaviossa.

Linja-autojen ajoreitin pysyessä vakiona ei päivittäinen ajomäärä muutu suuresti eri linja-autojen välillä tai eri kuukausina. Päiväkohtaisia ”piikkejä” on huomattavissa energiankulutuksessa, mutta useamman vuorokauden kokonaisarvoja verrattaessa ovat energiankulutuksen arvot molemmilla linja-autoilla vastaavia ja energiankulutus kasvoi loogisesti alhaisemmassa lämpötilassa.

Koska energiankulutuksen piikkeihin ei löydy suoraa selitystä tässä luvussa, on seuraavassa luvussa perehdytty täysin lämpötilan muutoksiin, jossa ajomäärä on jätetty huomioimatta.

## 5 ENERGIAANKULUTUS LÄMPÖTILAAN VERRATTUNA

Edellisen luvun viivakaavioissa on joillakin päivämäärillä poikkeamia energiankulutuksessa, vaikka ajomäärässä ei ole suuria muutoksia. Seuraavaksi tarkastellaan samoja päivämääriä, mutta huomioidaan ajomäärän sijasta linja-autojen jatkuvasti mitaama lämpötila. Tällä tarkastelulla pyritään saamaan selkoa viivakaavioissa näkyviin eri päivillä tapahtuviin poikkeamiin.

Ensimmäisissä vertailutarkasteluissa käytettiin hyödyksi Internetin eri sääsivustojen tallentamia tietoja. Vaikka erinäisiltä sivustoilta sai tietää vuorokausien lämpötilat jopa useiden vuosien takaa, oli lopulta kaikkein tarkinta tehdä kyseinen tarkastelu linja-auton mitaamasta lämpötilasta. Tällä tavoin saadaan tulokseksi huomattavasti tarkempia arvoja, koska linja-autot tallentavat lämpötilan keskimäärin kerran minuutissa. Täten saadaan lähestulkoon jatkuvaa dataa suoraan ajoreitiltä, eivätkä ajoreitillä tapahtuvat äkilliset lämpötilamuutokset jää huomioimatta, kun täyden ajovuorokauden aikana mittaustapahtumia kertyy enimmillään lähes 700 kappaletta.

Tämä luvun tutkinta on tehty linja-autolle 1. Se voidaan jakaa kahteen seitsemän vuorokauden aikajaksoon. Ensimmäinen on helmikuussa ja toinen maaliskuussa.

Lämpötilan mittaustapahtumia pelkästään linja-autolle 1 oli näiltä kahdelta seitsemän vuorokauden aikajaksolta 7864 kappaletta ja mittaustapahtumia energiankulutukselle oli vastaavasti 2639 kertaa. Tämän luvun lopussa olevat keskiarvot on siis laskettu yhteensä 10 503 mittaustapahtumasta.

### 5.1 Helmikuun lämpötilat ja energiankulutus

Jotta linja-autolle 1 saadaan mahdollisimman suuri lämpötilaero kuukausien välille, on helmikuun päivämäärät valittu siten, että keskilämpötila on mahdollisimman paljon miinuksien puolella. Jo aikaisemmin käytetty viikko 6 oli erittäin kylmä, joten nämä seitsemän vuorokautta ovat peräkkäiset päivät 6.2. – 12.2.2017. Viikon 6 kylmin hetki oli seitsemännen päivän iltana, jolloin linja-auto mittasi ajoreitiltä lämpötilaksi  $-13,2^{\circ}\text{C}$ . Korkein lämpötila esiintyi useampana päivänä, mutta lämpötilan arvo oli kaikissa päivissä hetkelisesti tismalleen sama  $+2,0^{\circ}\text{C}$ . Edellä mainitut lämpötilat eivät ole koko vuorokauden kylmimpiä, koska nämä mittaukset ovat tapahtuneet linja-autosta, joka on ajossa kello

05:00 – 24:00. Aamuyön tunteina saattaa lämpötila siis laskea vielä enemmän, mutta laskenta on nyt tarkimmillaan, kun lämpötilat ovat vain linja-auton vuorokausikohtaiselta käyttöajalta.

Kun jokaisen vuorokauden lämpötilan mittaustuloksista laskee keskiarvot ja laskee kokonaisenergiankulutuksesta vuorokausikohtaisen energiankulutuksen, saadaan taulukoitua jokaiselle päivämäärälle keskilämpötila sekä linja-auton käyttämä energia samalla päivämäärällä (taulukko 10).

Taulukko 10. Linja-auton 1 helmikuun keskilämpötilat ja energiankulutus.

Helmikuu 2017		
	°C	kWh
6.helmi	-4,86	396
7.helmi	-8,43	378
8.helmi	-6,43	362
9.helmi	-7,05	398
10.helmi	-4,22	393
11.helmi	-4,22	360
12.helmi	0,29	345
Keskiarvo	-4,99	376

## 5.2 Maaliskuun lämpötilat ja energiankulutus

Tavallista lämpimämmän maaliskuun ansiosta on lämpötilaero helmikuuhun nähden sen verran suuri, että energiankulutuksessa on huomattavissa selkeitä eroja prosentuaalisesti. Vastaavalla tavalla kuin helmikuussa, maaliskuun lämpöiset päivät olivat lähestulkoon peräkkäin. Ensimmäinen lämmin vuorokausi oli 11. päivä, tämän jälkeen ovat laskennassa käytetyt loput 6 vuorokautta peräkkäiset päivät 14.3.2017 – 19.3.2017.

Helmikuun vuorokausissa lämpötila nousi korkeimmillaan +2,0 celsiusasteeseen, kun taas maaliskuun alin lämpötila edellä mainituilla vuorokausilla oli vain -2,4 °C. Viidentenätoista päivänä oli lämpötila noussut ajoreitillä klo 15:51 aina 11,2 celsiusasteeseen saakka.

Maaliskuun 7 vuorokauden lämpötilan keskiarvo nousikin melkein 10 celsiusastetta korkeammaksi kuin helmikuussa.

Alapuolelta löytyy vastaavanlainen taulukko (taulukko 11) eri päivien keskilämpötilalle ja energiankulutukselle, kuin aiemmin oli nähtävissä helmikuulle.

Taulukko 11. Linja auton 1 energiankulutus ja maaliskuun keskilämpötilat.

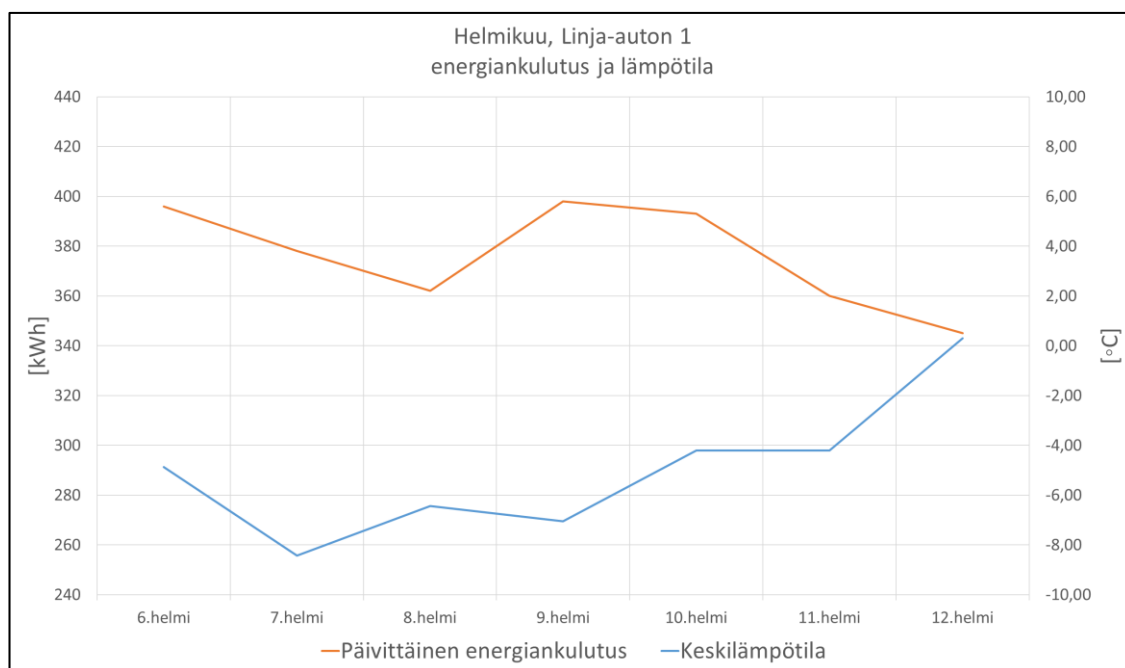
Maaliskuu 2017		
	°C	kWh
11.maalis	3,80	354
14.maalis	4,80	420
15.maalis	2,40	357
16.maalis	5,00	373
17.maalis	5,60	370
18.maalis	5,00	325
19.maalis	3,40	332
Keskiarvo	4,29	362

### 5.3 Kuukausikohtainen lähempi tarkastelu

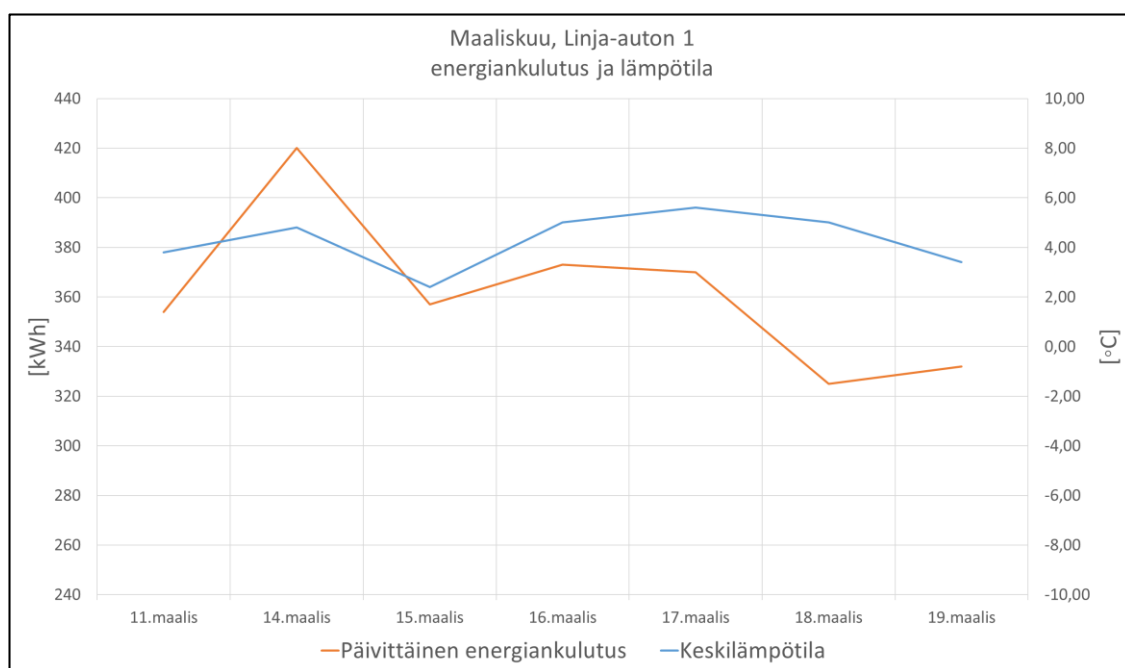
Kuukausikohtaisten taulukoiden ansiosta on mahdollista tehdä tarkempi ja yhdistetty vertailu viivakaavion muodossa. Kuukaudet ovat omissa kaavioissaan, mutta niiden skaalaus on täsmälleen sama, joten niitä on mahdollista verrata suoraan toisiinsa.

Poikkeamia energiankulutuksessa on edelleen, kuten kaikkein suurin energiankulutus maaliskuun 14. päivänä, mutta kokonaista 7 vuorokauden aikajaksoa katsottaessa ovat energiankulutuksen arvot oletetusti suuremmat helmikuun kylmemmillä säillä kuin maaliskuun lämpöisemällä ilmalla. Seuraavalta sivulta löytyvät siis kuvat 4 ja 5, joita on mahdollista verrata suoraan keskenään ja nähdä eri kuukausien aikaansaamia muutoksia.





Kuvio 4. Helmikuu, Linja-auton 1 energiankulutus ja lämpötila viivakaaviossa.



Kuvio 5. Maaliskuu, Linja-auton 1 energiankulutus ja lämpötila viivakaaviossa.

Muutoksia energiankulutuksessa tapahtuu samoina päivinä, kun lämpötila muuttuu. Muutokset jokaisella vuorokaudella eivät kuitenkaan ole loogisia, mikä johtuu todennäköisesti ajomäärän muutoksista, joita ei tämän luvun viivakaavioissa näy.

## 6 ENERGIANKULUTUS AJOMÄÄRÄÄN JA LÄMPÖTILAAN VERRATTUNA

Aikaisemmissa kohdissa tapahtuneen tutkinnan, laskennan ja pohdinnan lopputuloksena on mahdollista päästä vertaamaan energiankulutusta sekä ajomäärän että lämpötilan vaikutukset huomioon ottaen. Tämä luku sisältää arvoissaan myös kolmannessa luvussa lasketut häviöt, jolloin lopputuloksena saadut arvot sisältävätkin kaiken aikaisemmin läpikäydyn datan, ja ovat täten mahdollisimman lähellä käytännön totuutta, eivätkä pelkästään yksittäisen luvun laskentojen antamia teoreettisia arvoja.

Tässä kohtaa tulisikin viimein saada käsitys, miksi aikaisemmissa vaiheissa valitut päivämäärät ovat olleet erittäin tärkeitä. Päivämäärien, joita on käytetty sekä ajomäärän vaikutusta, että lämpötilan vaikutusta laskiessa, on täytynyt olla samat, jotta niitä on mahdollista verrata ja summata keskenään tässä luvussa. Sähkölinja-autojen lyhyen käyttöajan takia on harmillista, etteivät muut linjan 1 sähkölinja-autot ole olleet riittävässä ajossa, jotta niiltä olisi saatu riittävästi dataa.

Näin ollen tämän luvun yhdistetty laskenta suoritettiin lokakuussa 2016 käyttöön otetun linja-auton numero 1 arvoille. Mahdollisimman laajan tarkastelun aikaansaamiseksi on yhdistetty laskenta suoritettu helmikuussa jo aikaisemmin mainituille seitsemälle vuorokaudelle sekä maaliskuussa aikaisemmin mainituille seitsemälle vuorokaudelle.

### 6.1 Helmikuun yhdistetyt arvot

Lopullisen yhdistetyn arvon saamiseksi helmikuulle lähdetään liikkeelle ajomäärästä. Hyvinkin samoihin kilometrimääriin päästin jokaisena päivänä. Pienin ajomäärä toteutui 10. helmikuuta, jolloin ajoa kertyi 276 kilometriä. 11. helmikuuta ja 12. helmikuuta oli ajomäärä täsmälleen sama 296 km. Vajaan kahdenkymmenen kilometrin eron syyn löytää kellonajoista. Normaalisti linjaliikenne on ollut ohi noin kello 23:45, mutta 10. helmikuuta on ajo lopetettu sähkölinja-autolla tunti aikaisemmin, eikä täyttä kilometrimäärää ole tämän takia kertynyt.

Toisessa vaiheessa lasketaan jokaiselle vuorokaudelle keskilämpötila. Helmikuun 12. on ainut vuorokausi, jolloin keskilämpötila nousee pakkaselta plussan puolelle. Tämän vuorokauden keskilämpötila on +0,29 astetta. Seitsemäs helmikuuta on vuorokausista kylmin. Tämän vuorokauden ajoaikana mitattujen lämpötilojen keskiarvo on -8,43 astetta.

Kolmannessa vaiheessa otetaan kokonaisenergiankulutuksen arvosta kilowattituntimäärä, joka on kertynyt jokaisen vuorokauden ajoaikana. Kahdententoista päivänä, jolloin lämpötila oli korkeimmillaan, on myöskin energiankulutus kaikkein pienimmillään. Tällöin linja-auton käyttämäksi kilowattituntimääräksi kertyi 345 kWh. Huomattavasti keskiarvon yläpuolelle nousi taas kuudennen päivän energiankulutus, joka on myös ainut vuorokausi, jolloin arvo on kohonnut 400 kWh:n yläpuolelle. Tarkka arvo kuudennelle päivälle on 417 kWh.

Näiden kolmen vaiheen avulla saadaan helmikuun kokonaisuus taulukkoon 15, joka löytyy alta. Tässä taulukossa on energiankulutus vuorokausikohtaiselta käyttöajalta verrattuna saman vuorokauden ajomäärään. Mukana on myös jokaisen vuorokauden keskilämpötila. Ennen taulukkoa 15 löytyy edellä mainittujen kolmen vaiheen taulukot (taulukot 12, 13 ja 14), joista taulukon 15 arvot ovat laskettu.

Taulukko 12. Linja-auton 1 ajomäärät helmikuussa.

<b>Linja-auto 1</b>		
Ajomäärä		
6.helmi	291	km
7.helmi	292	km
8.helmi	286	km
9.helmi	285	km
10.helmi	276	km
11.helmi	296	km
12.helmi	296	km

Taulukko 13. Linja auton 1 helmikuun mittauksien keskilämpötilat.

<b>Linja-auto 1</b>		
Keskilämpötila		
6.helmi	-4,86	°C
7.helmi	-8,43	°C
8.helmi	-6,43	°C
9.helmi	-7,05	°C
10.helmi	-4,22	°C
11.helmi	-4,22	°C
12.helmi	0,29	°C

Taulukko 14. Linja-auton 1 energiankulutus helmikuussa.

<b>Linja-auto 1</b>		
Akun kokonaislataus		
6.helmi	417	kWh
7.helmi	378	kWh
8.helmi	362	kWh
9.helmi	398	kWh
10.helmi	393	kWh
11.helmi	360	kWh
12.helmi	345	kWh

Taulukko 15. Linja-auton 1 helmikuun kokonaisuus.

Linja-auto 1			
Päivämäärä		Päivämäärä	
6.helmi	1,43 kWh/km	6.helmi	-4,86 °C
7.helmi	1,29 kWh/km	7.helmi	-8,43 °C
8.helmi	1,27 kWh/km	8.helmi	-6,43 °C
9.helmi	1,40 kWh/km	9.helmi	-7,05 °C
10.helmi	1,42 kWh/km	10.helmi	-4,22 °C
11.helmi	1,22 kWh/km	11.helmi	-4,22 °C
12.helmi	1,17 kWh/km	12.helmi	0,29 °C

Kilometrikohtaista energiankulutusta lämpötilaan verrattaessa havaitaan, että pienin energiankulutus oletetusti suurimmassa keskilämpötilassa. Taulukon arvoista epäloogisin on helmikuun 6. päivän energiankulutuksen suuruus. Tämä keskivertoa suurempi energiankulutus on ollut nähtävillä jo kuviossa 1.

## 6.2 Maaliskuun yhdistetyt arvot

Tämä alaluku sisältää vastaavanlaiset laskennat kuin edellisessä alaluvussa esitettiin. Samassa järjestyksessä edeten lähdetään liikkeelle ajomäärästä. Maaliskuussa ei ollut kilometrikohtaisesti suuria poikkeamia eri vuorokausilla, mutta helmikuuhun verrattaessa oli ajomäärä ollut lievässä kasvussa ja viikon aikana kertynyt kokonaiskilometrimäärä olikin tasan 50 kilometriä enemmän. Vähiten ajoa kertyi 18.maaliskuuta, jolloin kilometrejä kertyi 280. Vuorokautta aiemmin, 17.maaliskuuta, oli ajoa kaikkein eniten, jolloin kilometrejä kertyi 318.

Vuorokausikohtaiset keskilämpötilat olivat maaliskuun jokaisella päivällä kahden ja kuuden lämpöasteen välillä. Kylmin vuorokausi oli 15. maaliskuuta, jolloin keskilämpötila linja-auton mittaustuloksista on +2,4 celsiusastetta. Lämpimin päivä on ollut 17. maaliskuuta, jolloin keskilämpötila on +5,6 ° C.

Maaliskuun energiankulutus ei näytä yhtä loogiselta kuin helmikuun. Maaliskuun 14. päivä on kerryttänyt viikolla kolmanneksi suurimman ajomäärän ja sen lämpötila on myös kolmanneksi korkeimmalla. Tästä huolimatta energiankulutus on ollut tällöin huomattavasti muita päiviä korkeammalla ja arvo onkin noussut aina 420 kilowattituntiin asti. Tämä ”piikki” on ollut huomattavissa jo kuvioissa 3 ja 5. Pienin energiankulutus on kuitenkin ollut lämpöisenä vuorokautena ja myöskin samana vuorokautena, jolloin ajomäärä on ollut kaikkien pienimillään. Kyseessä on siis 18. maaliskuuta ja energiankulutus on 280 kWh.

Näiden kolmen vaiheen avulla saadaan maaliskuun kokonaisuus taulukkoon 19, joka löytyy alta. Tässä taulukossa on energiankulutus vuorokausikohtaiselta käyttöajalta verrattuna saman vuorokauden ajomäärään. Mukana on myös jokaisen vuorokauden keskilämpötila. Ennen taulukkoa 19 löytyy edellä mainittujen kolmen vaiheen taulukot (taulukot 16, 17 ja 18), joista taulukon 19 arvot ovat laskettu.

Taulukko 16. Linja-auton 1 ajomäärät maaliskuussa.

<b>Linja-auto 1</b>		
Ajomäärä		
11.maalis	291	km
14.maalis	301	km
15.maalis	284	km
16.maalis	302	km
17.maalis	318	km
18.maalis	280	km
19.maalis	296	km

Taulukko 17. Linja auton 1 maaliskuun mittauksien keskilämpötilat.

<b>Linja-auto 1</b>		
Keskilämpötila		
11.maalis	3,80	°C
14.maalis	4,80	°C
15.maalis	2,40	°C
16.maalis	5,00	°C
17.maalis	5,60	°C
18.maalis	5,00	°C
19.maalis	3,40	°C

Taulukko 18. Linja-auton 1 energiankulutus maaliskuussa.

<b>Linja-auto 1</b>		
Akun kokonaislataus		
11.maalis	354	kWh
14.maalis	420	kWh
15.maalis	357	kWh
16.maalis	373	kWh
17.maalis	370	kWh
18.maalis	280	kWh
19.maalis	332	kWh

Taulukko 19. Linja-auton 1 maaliskuun kokonaisuus.

<b>Linja-auto 1</b>			
Päivämäärä		Päivämäärä	
11.maalis	1,22 kWh/km	11.maalis	3,80 °C
14.maalis	1,40 kWh/km	14.maalis	4,80 °C
15.maalis	1,26 kWh/km	15.maalis	2,40 °C
16.maalis	1,24 kWh/km	16.maalis	5,00 °C
17.maalis	1,16 kWh/km	17.maalis	5,60 °C
18.maalis	1,00 kWh/km	18.maalis	5,00 °C
19.maalis	1,12 kWh/km	19.maalis	3,40 °C

Pienimmät energiankulutukset ovat päivämäärillä, joissa keskilämpötila on korkeimmillaan ja myös ajomäärät ovat olleet muita päiviä pienempiä. Aikaisemmin mainittu energiankulutuksen ”piikin” suuruus on 1,40 kilowattituntia/kilometri. Tämä on siis 14. maaliskuuta, jolloin keskilämpötila on kuitenkin seitsemän vuorokauden aikajaksolta kolmanneksi korkeimmalla.



### 6.3 Helmi- ja maaliskuun yhteenveto

Kaiken edellä tehdyn työn tuloksena on mahdollista saada kuukausien välinen yhteenveto, joka toimii kulmakivenä tämän opinnäytetyön osalta. Tässä yhteenvedossa on nähtävissä, mikä on todella ollut sähkölinja-auton energiankulutus sekä helmikuussa että maaliskuussa, ja minkälaisen muutoksen ajomäärä sekä lämpötila siihen aiheuttavat.

Loogista on, että helmikuun alhaisempien lämpötilojen takia olisi energiankulutus suurempi ja laskentojen lopputulos antaa saman vastauksen. Energiankulutus on verrattu kilometriä kohden, jolloin saadaan yksinkertaisempi yksikkö. Helmi- ja maaliskuun välinen ero on määritetty sekä absoluuttisesti että prosentuaalisesti.

Helmi- ja maaliskuun arvojen erotuksesta nähdään, kuinka suuri vaikutus lämpötilalla on energiankulutukseen. Lämpötilat ovat suoraan linja-autojen mittauspisteiden mittaamia arvoja ajoreitiltä, jolloin saadaan vuorokausikohtainen lämpötilan keskiarvo mahdollisimman tarkaksi siltä ajalta, jolloin linja-auto on ollut liikkeessä.

Helmikuun 7 vuorokauden aikajakson lämpötilan keskiarvo on -4,99 celsiusastetta. Kun tältä aikajaksolta ottaa kokonaisenergiankulutuksen, jonka jakaa ajomäärällä, saadaan helmikuun arvoksi 1,31 kWh/km. Huomattavasti lämpimämmän maaliskuun seitsemän vuorokauden aikajakson lämpötilan keskiarvon tulos on 4,29 celsiusastetta. Vastaavalla tavalla kokonaisenergiankulutusta ajomäärään verrattaessa saadaan maaliskuun energiankulutuksen arvoksi 1,20 kWh/km.

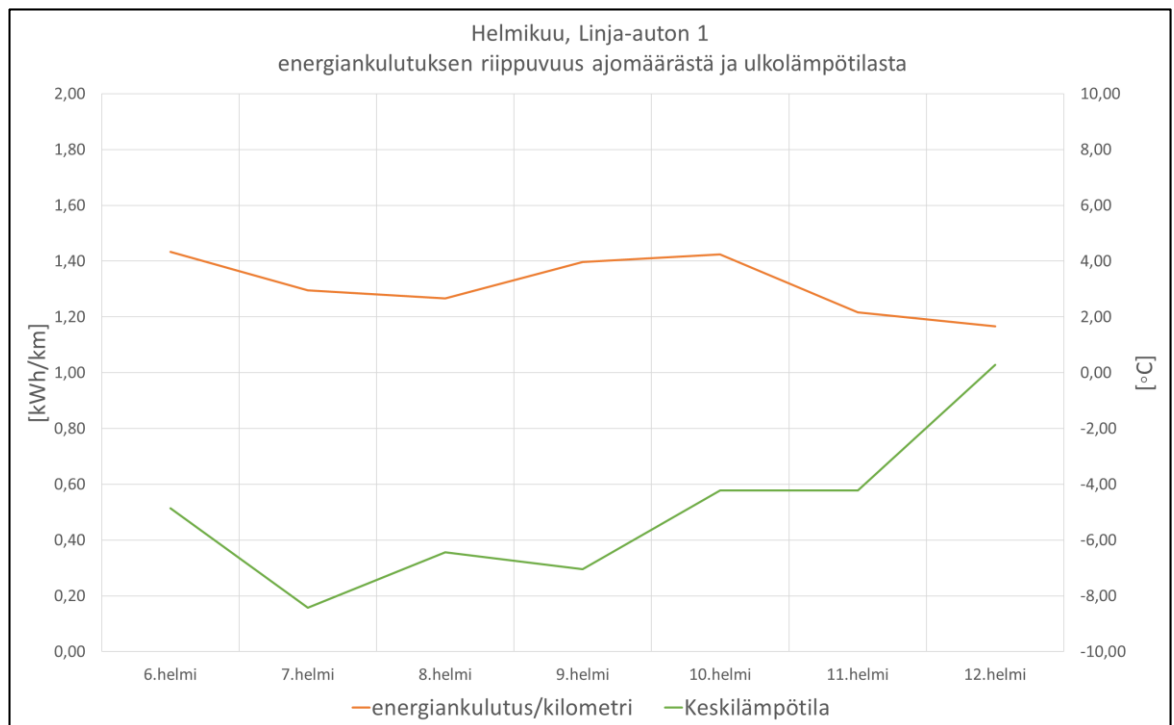
Näin ollen helmi- ja maaliskuun välinen keksilämpötilaero on noin 9,3 celsiusastetta. Maaliskuun energiankulutus on ollut lähes 0,12 kWh/km pienempi. Ero saattaa vaikuttaa pieneltä, mutta kyseessä on lähes 10 prosenttia pienempi kulutus. Alapuoella on taulukko (taulukko 20), josta arvot ovat vielä nähtävissä. Vaikka taulukko on tuotu esille mahdollisimman yksinkertaisena ja helposti luettavana, se pitää silti sisällään kaiken aikaisemmin tapahtuneen laskennan ja näyttää selvästi, minkälaisen vaikutuksen lämpötila aiheuttaa.

Taulukon alapuolelta löytyvät viivakaaviot helmi- ja maaliskuulle (kuviot 6 ja 7), jotka ovat sisältävät sekä keskilämpötilan, että vuorokausikohtaisen ajomäärän.

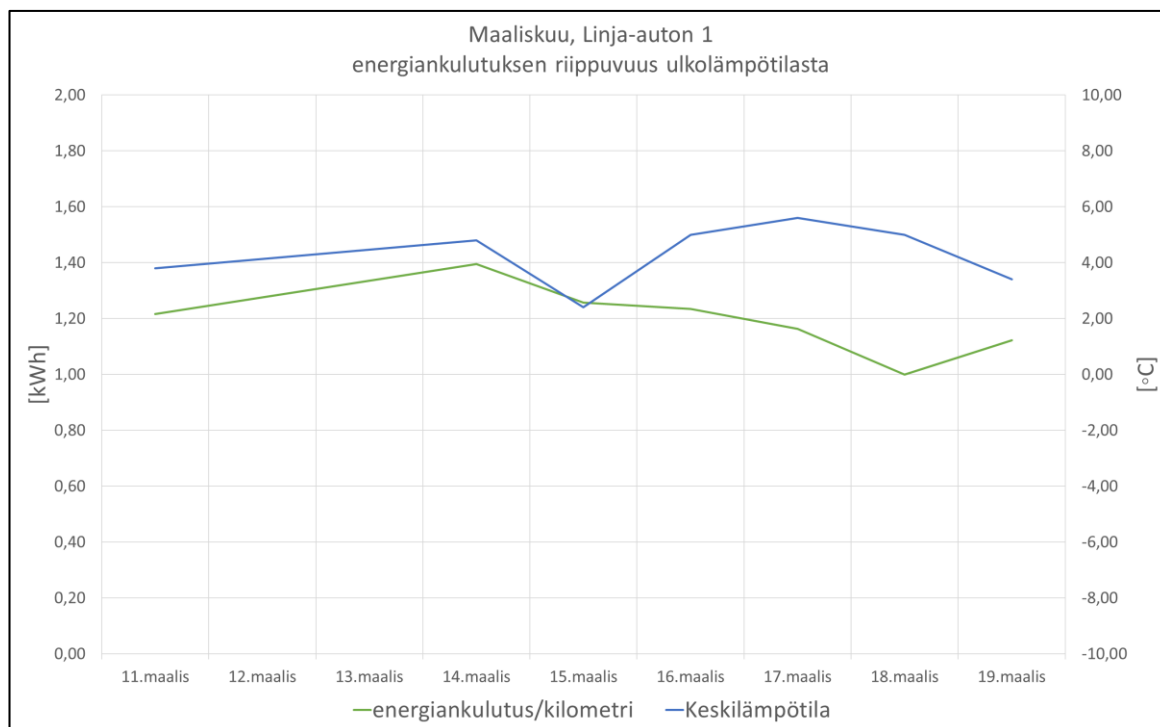
Taulukko 20. Helmi- ja maaliskuun yhteenveto

<b>Linja-auto 1</b>			
Kuukausi			
Helmikuu	1,31 kWh/km	-4,99 °C	
Maaliskuu	1,20 kWh/km	4,29 °C	

Erotus	0,11 kWh/km	
Häviö	9,61 %	
Lämpötilaero	9,27 °C	



Kuvio 6. Helmikuu, energiankulutuksen riippuvuus ajomäärästä ja ulkolämpötilasta.



Kuvio 7. Maaliskuu, energiankulutuksen riippuvuus ajomäärästä ja ulkolämpötilasta

Taulukon ja viivakaavioiden sisältäessä opinnäytetyön alussa lasketut häviöt, ajomäärän jokaiselle päivälle sekä ajoreitiltä mitatun keskilämpötilan, ovat lasketut arvot loogisia ja odotettuja. Pieniä muutoksia eri päivämäärillä on, mutta näihin vaikuttavat jo mittausepä-tarkkuudet, joita on aiheutunut niin itse mittaustapahtumassa kuin myös laskentojen ai- kana kertyneissä pyöristyksissä.

Kokonaisuutena helmikuun energiankulutus on 9,6 % maaliskuuta suurempi, mikä on looginen huomattavasti alhaisemman lämpötilan takia. Kaikki osa-alueet huomioituina ei viivakaavioissa ole nähtävissä vastaavanlaisia suuria muutoksia, joita oli nähtävissä yk- sittäisiä osa-alueita tarkasteltaessa.

## 7 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön sisältämää vastaavanlaista laskentaa energiankulutukseen vaikuttavista tekijöistä ei ole aiemmin tehty, mikä tarkoittaa, ettei aikaisempaa vertauspohjaa ole. Tämä opinnäytetyö toimiikin siis vertauspohjana tulevaisuutta ajatellen, kun energiankulutukseen päästään perehtymään yhä laajemmin. Yksityiskohtaisempi tarkastelu on mahdollista tehdä, kun jokainen linjalle tarkoitettu sähkölinja-auto on saatu valmiiksi ja ne ovat olleet ajokäytössä riittävän pitkään, jolloin dataa on tallentunut enemmän.

Koska aiempaa vertauspohjaa ei ollut, suurin osa työn tekemisestä laskentojen ohella on ollut omaa pohdintaa ja päättelyä, jotta nähdään, ovatko laskentojen antamat tulokset sellaisissa suuruusluokissa, joita oli odotettavissa. Tämän takia tässä työssä nähtävien taulukoiden avulla on hankalaa saada ymmärrys siitä, kuinka monta työtuntia on takana, ennen kuin itse laskentoihin on ollut mahdollista päästä edes käsiksi.

Suurimmat hankaluudet työssä aiheutti aikaisemman tiedon puuttuminen. Aikaisempi kokemattomuus työstä, jossa tehdään koko laskentapohja, suoritetaan laskut, joiden oikeanlaisuus on todettava, toi mukanaan omat haasteensa. Tästä huolimatta ja useiden yrityksien lopputuloksena saatiin luotua valmis kokonaisuus, jonka laskennoissa käytetyt kaavat ovat oikeita ja lopputulokset loogisia.

Kokonaisuudesta jäi puuttumaan aikarajan puitteissa yksi osa-alue, joka oli kuljettajan itse aikaansaamat muutokset energiankulutukseen. Tämä olisi lyhyesti tarkoittanut sitä, että jokainen vuorokausi olisi vielä jaettu eri osiin. Jokainen näistä osista olisi ollut yhden ammattikuljettajan tekemä työvuoro. Numeroimalla eri kuljettajat olisi ollut mahdollista nähdä pystyvätkö he omalla ajotavallaan tuottamaan erisuuruisia energiankulutuksia linja-auton käytössä.

Tämä osa-alue olisi kuitenkin pitänyt tehdä kokonaan manuaalisesti, koska linja-autot eivät erittele kuljettajan vaihdosta esimerkiksi digipiirturin kautta, eivätkä nämä arvot tällöin ole tallentuneet tietokantaan omasta mittauspisteestään. Tällaisen osa-alueen tekemiseksi tarvitaan siis työvuorot kuljettajien vaihtumisesta, jotta seuranta pystytään tekemään. Todennäköisesti ammattikuljettajien tekemät muutokset kokonaisenergiankulutukseen olisivat olleet pieniä, mutta tämän osa-alueen työtunnit olisivat vieneet niin suuren ajan, ettei sitä pystytty enää tähän kokonaisuuteen sisältämään.

## 8 YHTEENVETO

Tämä opinnäytetyö on yksi osa kokonaisuutta, jonka Turun ammattikorkeakoulu on saanut toimeksiantona Turun kaupungilta. Kokonaisuus on niin laaja, että se jaettiin useaan eri opinnäytetyöhön muun tutkimuksen ohella. Kuten myös muissa tähän kokonaisuuteen kuuluvissa opinnäytetöissä, myös tämän osuuden tuloksista on tarkoitus raportoida toimeksiantajalle Turun kaupungille, kuten myös sähkölinja-autojen valmistajalle Linkker Oy:lle.

Työn alussa lasketut häviöt ovat suuruusluokaltaan mitä etukäteen odotettiin. Jokaisen linja-auton häviöt ovat prosentuaalisesti samoissa suuruusluokissa, vaikka ajomäärää ei linja-autoilla olekaan sama. Jokaisella linja-autolla suurimman häviön tuottaa akussa tapahtuva purkaushäviö.

Neljännessä luvussa lasketut energiankulutukset ajomäärän funktiona antavat myös loogisia arvoja. Energiankulutus on suurempi lämpötilan laskiessa ja linja-autoja keskenään verrattaessa on kilometrikohtainen energiankulutus lähestulkoon identtinen.

Työn lopussa on verrattu energiankulutusta ajomäärän funktiona, kun kahden eri kauden lämpötilat on huomioitu mukaan. Tässä kohtaa laskentoihin on sisällytetty myös alussa lasketut häviöt. Taulukosta 20 on nähtävissä, että lämpötilan laskiessa hieman yli 9 celsius astetta, on energiankulutuksen kasvu 0,11 kilowattituntia jokaista kilometriä kohden.

Ilman aikaisempaa vertauspohjaa huolimatta kaikkien eri osa-alueiden antamat laskenta-arvot ovat sellaisia, joita oli etukäteen odotettavissa. Tästä voidaankin tehdä päätelmä, että ne ajatukset täydentyvät, joita sähkölinja-auton energiankulutuksesta oli etukäteen, koska jälkikäteen tehdyt laskennat antavat vastaavanlaisia tuloksia.

## LÄHTEET

Föli 2017. Linjan 1 reitti opaskartalla. Viitattu 24.10.2017. <https://opaskartta.turku.fi/IMS/?layers=Opaskartta&lon=1&cp=6704587,23459893&z=2>

Tekniikka & Talous 2017. Mennään sähköbussilla – suomalainen Linkker aikoo 500 miljoonan euron yritykseksi. Viitattu 22.11.2017. <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/mennaan-sahkobussilla-suomalainen-linkker-aikoo-500-miljoonan-euron-yritykseksi-6623544>

Yle uutiset 2016a. Sähköbussit Turun katukuvaan lähiviikkoina. Viitattu 22.11.2017. <https://yle.fi/uutiset/3-9184131>

Yle uutiset 2016b. Turku sähköistää bussilinjan numero yksi. Viitattu 22.11.2017. <https://yle.fi/uutiset/3-9201221>